

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 42 26 391 A 1

51 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
G 01 F 1/84  
G 01 D 3/02  
G 01 D 1/16  
G 01 D 5/26

21 Aktenzeichen: P 42 26 391.3  
22 Anmeldetag: 10. 8. 92  
43 Offenlegungstag: 17. 2. 94

DE 42 26 391 A 1

71 Anmelder:  
Drahm, Wolfgang, 85737 Ismaning, DE; Lutz,  
Markus, 72800 Eningen, DE

72 Erfinder:  
gleich Anmelder

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur Erkennung und Korrektur einer Nullpunktdrift bei einem Coriolis-Massenstrommesser

57 In der Erfindung wird ein Verfahren beschrieben, mit dem eine Nullpunktdrift bei einem Coriolis-Massenstrommesser erkannt und korrigiert werden kann. Bei diesen Massenstrommessern werden Meßrohre in Schwingungen versetzt, wobei angreifende Corioliskräfte zu Phasenverschiebungen der Schwingungen führen. Das Schwingungssystem kann sich aufgrund Temperaturänderungen oder aufgrund äußerer oder innerer Störungen verändern. Hierdurch entstehen Phasenverschiebungen bei den Schwingungen, die unabhängig vom Massenfluß und damit dem eigentlichen Meßeffect überlagert sind. Diese Veränderungen können durch Erfassung zusätzlicher charakteristischer Größen des Schwingungssystems erkannt und korrigiert werden. Dazu wird der Durchfluß konstant oder gleich null gehalten, der Massenstrommesser extremen Bedingungen ausgesetzt und aus hierbei aufgenommenen Meßreihen die Gewichtungsfaktoren mittels eines geeigneten mathematischen Verfahrens, insbesondere der Ausgleichsrechnung bestimmt. Korrektur der Nullpunktdrift bei einem Coriolis-Massenstrommesser.

DE 42 26 391 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erkennung und Korrektur einer Nullpunktdrift bei einem Massenstrommesser gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Desweiteren betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung des genannten Verfahrens.

Bei Massenstrommessern, die nach dem Coriolis-Prinzip arbeiten (vgl. z. B. DE-OS 30 07 361, 30 46 793, 37 39 383, 39 16 285, 38 29 058), wird ein Meßrohr oder werden mehrere Meßrohre, die in einem Gestell fest eingespannt sind, zu Biegeschwingungen oder kombinierten Biege- und Torsionsschwingungen angeregt. Wird ein solches Meßrohrsystem von einem Fluid durchströmt, entstehen Corioliskräfte, die an der Innenwand des bewegten Meßrohres senkrecht zur Strömungsrichtung angreifen. Durch die Wirkung dieser Corioliskräfte entstehen zwischen einlaufseitigem und auslaufseitigem Teil des Schwingungssystems Phasenverschiebungen, die ein Maß für den Massenfluß darstellen.

Da dieses Schwingungssystem seine mechanischen Eigenschaften abhängig von den jeweiligen Betriebsbedingungen, sowie abhängig von äußeren und inneren Störungen verändert, können Phasenverschiebungen auftreten, die unabhängig von einem Massenfluß durch das Meßrohrsystem sind und denjenigen Phasenverschiebungen, die aufgrund eines Meßeinflusses entstehen, überlagert sind. Mögliche Ursachen für solche Veränderungen sind u. a. der Temperaturgradient zwischen Meßrohrsystem und Gestell, Unsymmetrien in den Einspannungen der Meßrohre, mechanische Kopplungen zwischen Meßaufnahme und Umwelt, Materialalterungen und in besonderem Maße unerwünschte mechanische Kopplungen zwischen den verschiedenen Freiheitsgraden des schwingenden Meßrohrsystems.

Die in einem Gestell eingespannten Meßrohre eines Coriolis-Massenstrommessers sind konstruktionsbedingt statisch überbestimmte Systeme. Zwischen zwei verbundenen Teilstücken eines Systems besteht mindestens immer eine Verbindung in Form einer Dämpfung. Diese Verbindung führt zu einem Energiefluß von einem Teilstück in das andere Teilstück. Ändert sich nun die Dämpfung in der Einspannung der Meßrohre, so ändert sich deren Schwingungsverhalten. Deswegen können Phasenverschiebungen auftreten, die sich dem eigentlichen Meßeffect, nämlich der Phasenverschiebung aufgrund Massenfluß überlagern. Diese zusätzlichen Phasenverschiebungen führen zu einer Nullpunktdrift des Massenstrommessers.

Das Meßrohrsystem wird in einem bestimmten Freiheitsgrad mit seiner Resonanzfrequenz zu Schwingungen angeregt. Konstruktionsbedingt können die anderen Freiheitsgrade des Meßrohrsystems ähnliche Resonanzfrequenzen haben. Besteht nun eine Kopplung zwischen den Freiheitsgraden, die sich ändern kann, so ist ebenfalls eine deutliche Veränderung des Schwingungsverhaltens des Meßrohrsystems zu erkennen, die zu einer Nullpunktdrift des Massenstrommessers führt. Üblicherweise wird die Phasenverschiebung nur in einer Schwingungsebene gemessen. Insbesondere bei Massenstrommessern mit geraden Meßrohren ist jedoch eine starke Kopplung zwischen den beiden, aufeinander senkrecht stehenden Schwingungsebenen der Meßrohre wirksam. Durch Kopplungen kann Schwingungsenergie zwischen den Freiheitsgraden übertragen werden. Die Schwingungssysteme besitzen eine große Güte, was sich durch eine große Phasenteilheit im Resonanzfall

zeigt. Da nun die anderen Freiheitsgrade gegenüber dem angeregten Freiheitsgrad in gewissem Maße verstimmt sein können, was insbesondere bei einem geraden Meßrohr immer der Fall ist, schwingen die anderen Freiheitsgrade mit einer Phasendifferenz bezüglich des angeregten Freiheitsgrades. Durch die große Phasenteilheit im Resonanzfall entstehen beträchtliche Phasenverschiebungen zwischen dem angeregten Freiheitsgrad und den anderen mitschwingenden Freiheitsgraden, woraus Nullpunktdriften resultieren.

Deswegen ist es notwendig, solche Veränderungen im Schwingungssystem zu erfassen, um darauf aufbauend Korrekturfaktoren für den Nullpunkt und damit für den Massenfluß zu bestimmen.

Bei bekannten Massenstrommessern dieser Art wird versucht durch zusätzliche Vorrichtungen das Meßrohrsystem von der Umgebung zu entkoppeln (OS 38 29 059, 36 32 851). Nachteil dieser Lösung ist der hohe konstruktive Aufwand und die nur teilweise Beseitigung der Nullpunktdrift, da beispielsweise Unsymmetrien in den Einspannungen als Ursache für eine Nullpunktdrift dennoch wirksam bleiben.

Bei einem anderen gleichfalls bekannten Massenstrommesser (vgl. DE-OS 37 38 018) wird die Phasenverschiebung nicht nur mit zwei Schwingungsaufnehmern erfaßt, sondern mit zusätzlichen Schwingungsaufnehmern, so daß die Phasenverschiebungen an verschiedenen Positionen der Meßrohre oder des Meßrohres ausgewertet werden können. Hieraus können Unsymmetrien in den Einspannungen abgeschätzt werden. Nachteil dieser Lösung ist die nur teilweise Beseitigung der Nullpunktdrift, da zwar Unsymmetrien erfaßt werden, nicht aber Verkopplungen zwischen den Freiheitsgraden.

Desweiteren sind Massenstrommesser bekannt, die aus der Temperaturdifferenz zwischen Meßrohr und Gestell Korrekturfaktoren für den Massenstrom ermitteln (OS 36 32 851). Nachteil ist auch hier die nur teilweise Beseitigung der Nullpunktdrift, da Unsymmetrien durch einlauf- und auslaufseitig unterschiedliche Dämpfung des Massenstrommessers nicht erfaßt werden, und zudem die zwischen zwei Punkten gemessene Temperaturdifferenz nur ein grobes Abbild der Temperaturverteilung im Massenstrommesser darstellt und somit zu Ungenauigkeiten vor allem bei thermisch nicht eingeschwungenen Zustand des Massenstrommessers führt.

Das von der Erfindung gemäß Patentansprüchen gelöste Problem besteht darin, Veränderungen des Schwingungssystems zu erkennen und durch charakteristische Kenngrößen möglichst vollständig zu beschreiben und zur Korrektur des Massenflusses zu verwenden.

Dieses Problem wird erfindungsgemäß mit den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Die Erfindung zeigt weiterhin einen Weg für die Anwendung des Verfahrens in der Massendurchflußmeßtechnik nach dem Coriolis-Prinzip. Besonders vorteilhafte Aus- und Weiterbildungen der Erfindung sind durch die Merkmale der Unteransprüche gekennzeichnet.

Mit dem gemäß Patentanspruch 1 beschriebenen Verfahren können Veränderungen im Schwingungssystem eines Coriolis-Massenstrommessers ermittelt werden durch Erfassung zusätzlicher charakteristischer, vom Schwingungssystem abhängiger Größen, insbesondere:

- den absoluten Amplituden der Schwingungsaufnehmer;
- den Differenzen der absoluten Amplituden der Schwingungsaufnehmer;
- den absoluten Gleichanteilen der Signale der Schwingungsaufnehmer; dies entspricht der Ruhelage des Schwingungssystems; diese Erfassung wird ermöglicht durch eine spezielle Sensorik gemäß den Patentansprüchen;
- der Differenz der absoluten Gleichanteile der Schwingungsaufnehmer;
- den absoluten Amplituden und Gleichanteilen von Schwingungen die in anderen Freiheitsgraden des überbestimmten Schwingungssystems auftreten können und deren Differenz;
- die Phasenverschiebung der Signale von Sensoren, die Schwingungen in einem anderen Freiheitsgrad erfassen.

Die in der Meßebeine gemessene Phasendifferenz setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen:

$$\text{Phase}_{\text{gemessen}} = \text{Phase}_{\text{Meßeffect}} + K_0 + K_1 \cdot \text{Amplitude}_1 + K_2 \cdot \text{Amplitude}_2 + K_3 \cdot \text{Gleichanteil}_1 + K_4 \cdot \text{Gleichanteil}_2 + K_5 \dots \text{usw.}$$

mit  $K_i = \text{Konstante } i = 0, 1, 2, 3, \dots, n; n = \text{Anzahl der zur Korrektur berücksichtigten Größen};$

$\text{Phase}_{\text{Meßeffect}} = \text{bekannt};$

Die Gewichtungsfaktoren  $K_i$  werden nun auf folgende Weise bestimmt:

Während der Massenstrommesser extremen Betriebsbedingungen ausgesetzt ist, werden gemäß Fig. 1 die Phasenverschiebung in der Meßebeine (1) und die gemäß Patentanspruch 1 notwendigen zusätzlichen Größen erfaßt. Der Massendurchfluß muß dabei Null oder bekannt sein.

Extreme Umwelteinflüsse können z. B. folgende sein:

- Temperaturschwankungen der Umgebungstemperatur
- Temperaturschwankungen des Fluids im Meßrohrsystem
- Einseitige Erwärmung der Meßbrohraufhängung
- Veränderung der Aufhängung des Meßaufnehmers
- Veränderung der Gehäusemasse durch Anbringen eines Gewichts
- Allg.: Einflüsse die beim Betrieb des Massendurchflußmessers auftreten können usw.

Nun kann man mittels eines geeigneten mathematischen Verfahrens und den aufgenommenen Meßreihen die Korrekturparameter  $K_i$  bestimmen, insbesondere mit dem mathematischen Verfahren der Ausgleichsrechnung.

Mittels den gefundenen Gewichtungsfaktoren kann man nun eine Korrektur gemäß folgender Gleichung durchführen:

$$\text{Phase}_{\text{Meßeffect}} = \text{Phase}_{\text{gemessen}} - K_0 - K_1 \cdot \text{Amplitude}_1 - K_2 \cdot \text{Amplitude}_2 - K_3 \cdot \text{Gleichanteil}_1 - K_4 \cdot \text{Gleichanteil}_2 - K_5 \dots \text{usw.}$$

Sind die Korrekturparameter gefunden, bleiben sie dauerhaft im Massenstrommesser eingespeichert und dienen fortan zur Nullpunktkorrektur.

Vorteil des Verfahrens gemäß Patentanspruch 1 in

Verbindung mit der Ausgleichsrechnung ist, daß die Notwendigkeit die quantitativen Zusammenhänge zwischen möglichen Ursachen für eine Nullpunktdrift und deren Wirkung auf die Nullpunktdrift nicht bekannt sein müssen. Vielmehr ergibt sich aus der Ausgleichsrechnung ein Satz Korrekturfaktoren, ohne daß einzelne Kenngrößen getrennt erfaßt, separiert oder konstant gehalten werden müssen.

Bei bislang bekannten Massestrommessern wurde die Ruhelage der Meßbrohre nicht berücksichtigt. Durch eine Veränderung dieser Ruhelage kann sich der Einfluß des Aktors, der zur Schwingungserregung erforderlich ist, auf das Schwingungssystem verändern, woraus ebenfalls Nullpunktdriften resultieren. Bei dem Verfahren nach Anspruch 1 wird nun auch dieser Einfluß mitberücksichtigt.

Oftmals werden als Schwingungsaufnehmer in Coriolis-Massenstrommessern elektrodynamische Sensoren verwendet. Diese Aufnehmer liefern nur Wechselsignale und keinen Gleichanteil, der abhängig von der Ruhelage des Meßbrohres ist. In solchen Sensoren wird nur dann eine Spannung induziert, wenn sich das Magnetfeld in der Spule ändert, was üblicherweise durch einen Dauermagneten, der in die Spule eintaucht, erreicht wird.

Ein Gleichanteil, der abhängig von der Ruhelage des Meßbrohres des Massenstrommessers ist, kann folgendermaßen gemessen werden:

Benutzt man als Schwingungsaufnehmer fotoempfindliche Flächen, die von einem Lichtstrahl je nach Position des Rohres, mehr oder weniger beleuchtet werden, so bekommt man immer einen Gleichanteil, der von der Ruhelage des Rohres und von der Intensität des Lichtsenders abhängig ist.

Um Ausführungsformen der Erfindung besser kenntlich zu machen, sind die angefügten Zeichnungen nicht maßstabsgerecht. Der Übersichtlichkeit halber wurde auf Darstellung der Schwingungsanregung und der Schwingungsaufnehmer verzichtet.

Ausführungsformen der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden im Folgenden näher beschrieben.

Fig. 1 zeigt einen Geradrohraufnehmer mit dem Meßrohr (4) den Einspannungen (3) am Gestell, dem angeregten Freiheitsgrad (1) und dem dazu senkrechten Freiheitsgrad (2).

Fig. 2 zeigt eine weitere Bauform eines gattungsgemäßen Massenstrommessers mit dem U-förmig gebogenen Meßrohr (4) den Einspannungen (3) am Gestell, dem angeregten Freiheitsgrad (1) und den zusätzlichen Freiheitsgraden zur Erkennung einer Nullpunktdrift (2, 5, 6).

Fig. 3 zeigt eine weitere Bauform eines gattungsgemäßen Massenstrommessers mit dem S-förmig gebogenen Meßrohr (4), den Einspannungen (3) am Gestell, dem angeregten Freiheitsgrad (1) und den zusätzlichen Freiheitsgraden zur Erkennung einer Nullpunktdrift (2, 4, 6).

Fig. 4 zeigt eine mögliche Bauform eines Schwingungsaufnehmers mittels fotoempfindlicher Flächen. Eine Lichtquelle (3) strahlt Licht möglichst parallel auf das Meßrohr (4). Die Schwingung wird mit den beiden fotoempfindlichen Flächen (1, 2) aufgenommen.

Fig. 5 zeigt eine mögliche Bauform eines Schwingungsaufnehmers mit der Lichtquelle (3), dem Meßrohr (4) und nur einer fotoempfindlichen Fläche (1).

Fig. 6 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform eines Schwingungsaufnehmers mit der Lichtquelle (3), dem

Meßrohr (4), den fotoempfindlichen Flächen (1, 2) und einer Blende, durch die abhängig von der Meßrohrschwingung die beiden fotoempfindlichen Flächen beleuchtet werden. Somit entstehen zwei Sinussignale, die um 180 Grad phasenverschoben sind, und einen großen Gleichanteil besitzen. Bildet man die Differenz der beiden Signale, so erhält man ein Sinussignal, das um Null schwingt, und nur einen kleinen Gleichanteil besitzt. Durch das Differenzprinzip werden die Störungen verringert.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Erkennung einer Nullpunktdrift eines Coriolis-Massenstrommessers zur Korrektur der von Corioliskräften verursachten Phasenverschiebungen der Schwingungsbewegungen eines Durchflußmeßaufnehmers, dadurch gekennzeichnet, daß durch Erfassung zusätzlicher charakteristischer, vom Schwingungssystem abhängiger Größen Veränderungen des Schwingungsverhaltens des Meßrohrsystems eines gattungsgemäßen Massenstrommessers erkannt und zur Korrektur des Meßwertes benutzt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als zusätzliche charakteristische Größen die Amplituden der Signale der Schwingungsaufnehmer und deren Differenz benutzt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als zusätzliche charakteristische Größen die Gleichanteile der Signale der Schwingungsaufnehmer und deren Differenz benutzt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als zusätzliche charakteristische Größen die Amplituden und die Gleichanteile der Signale von Schwingungsaufnehmern, die Schwingungen in anderen Freiheitsgraden erfassen, benutzt werden.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als zusätzliche charakteristische Größen die Phasenverschiebung der Signale von Sensoren, die Schwingungen in einem anderen Freiheitsgrad erfassen, benutzt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als zusätzliche charakteristische Größen die Phasenverschiebung der Signale von Sensoren, die Schwingungen in unterschiedlichen Freiheitsgraden erfassen, benutzt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Korrektur einer Nullpunktdrift gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche die genannten Größen mittels folgenden mathematischen Verknüpfungen kombiniert werden:
  - Differenzen der obengenannten Größen;
  - Potenzen der obengenannten Größen;
  - Produkte der obengenannten Größen.
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Gewichtungsfaktoren der Korrekturgrößen dem System erlernt werden, indem man es während des Kalibriervorgangs mit bekanntem Durchfluß extremen Bedingungen aussetzt, und mit den hieraus gewonnenen Meßreihen die Gewichtungsfaktoren mittels eines geeigneten mathematischen Verfahrens, insbesondere der Ausgleichsrechnung, bestimmt.
9. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekenn-

zeichnet, daß mindestens eine fotoempfindliche Fläche je nach Lage des Meßrohres mehr oder weniger von einer Lichtquelle beleuchtet wird und aus dem Gleichanteil dieses Sensorsignals Rückschlüsse auf die Ruhelage des Meßrohres möglich sind.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß zwei fotoempfindliche Flächen abwechselnd, d. h. genau um 180 Grad phasenverschoben, mehr oder weniger von einer Lichtquelle beleuchtet werden und durch Differenzbildung ein Signal mit nur geringem Gleichanteil entsteht.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen



Fig. 1

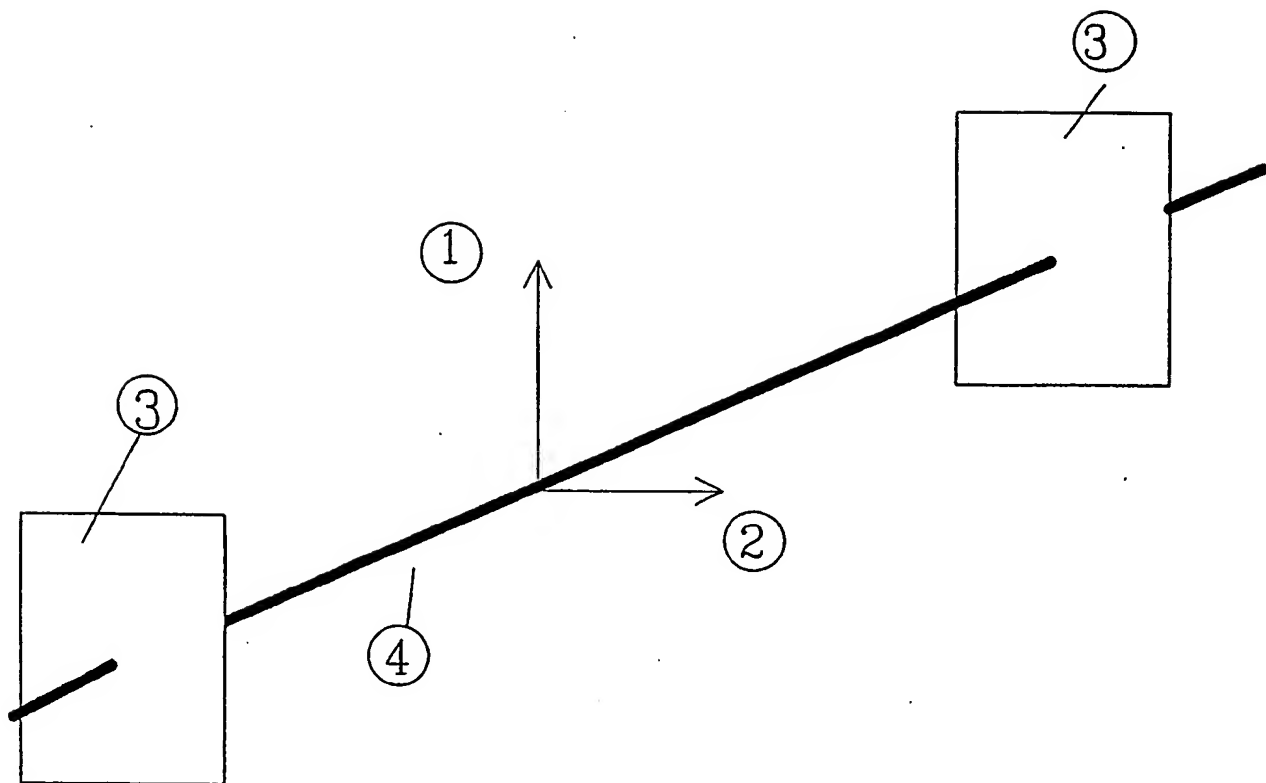


Fig. 2

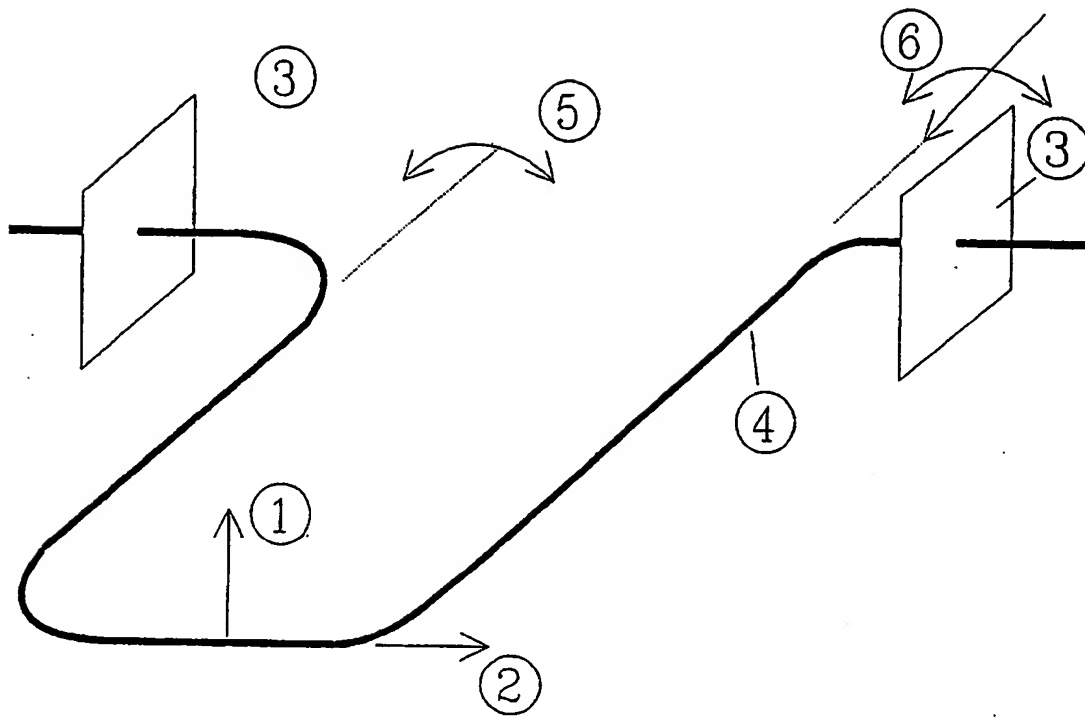


Fig. 3

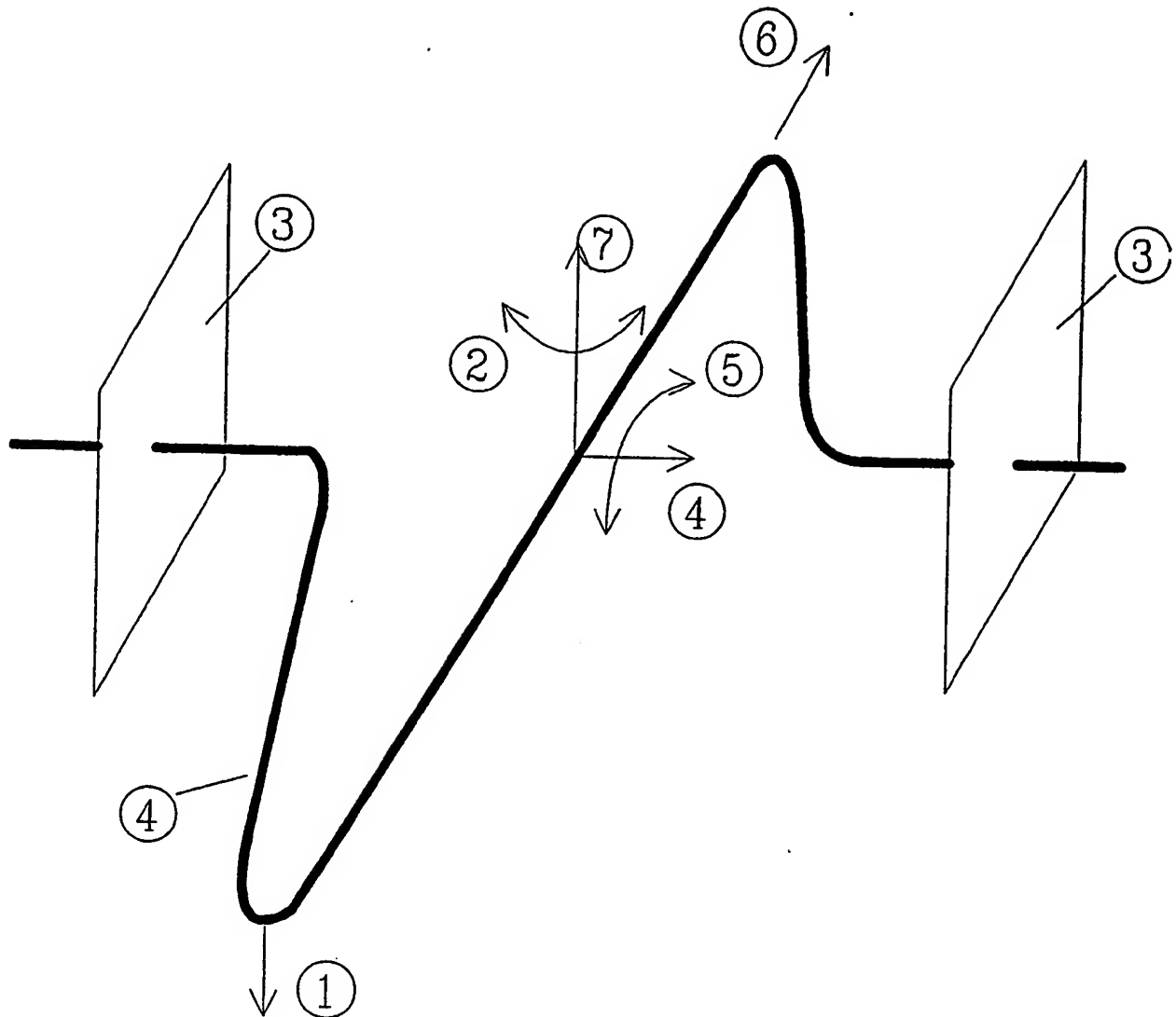


Fig. 4

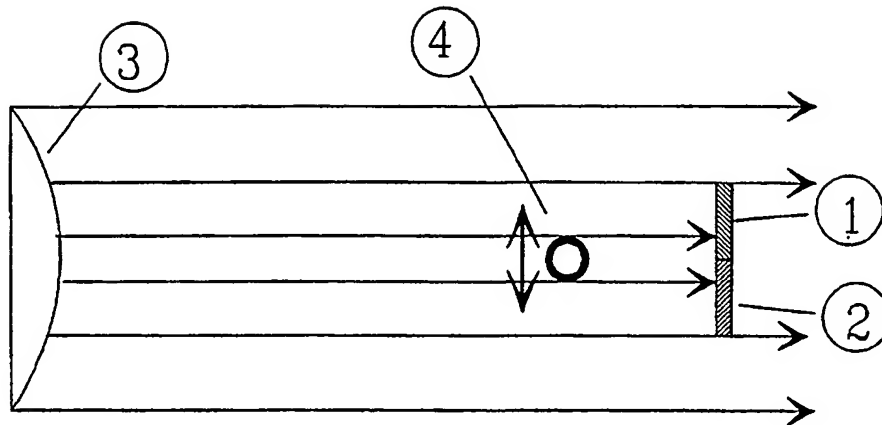


Fig. 5

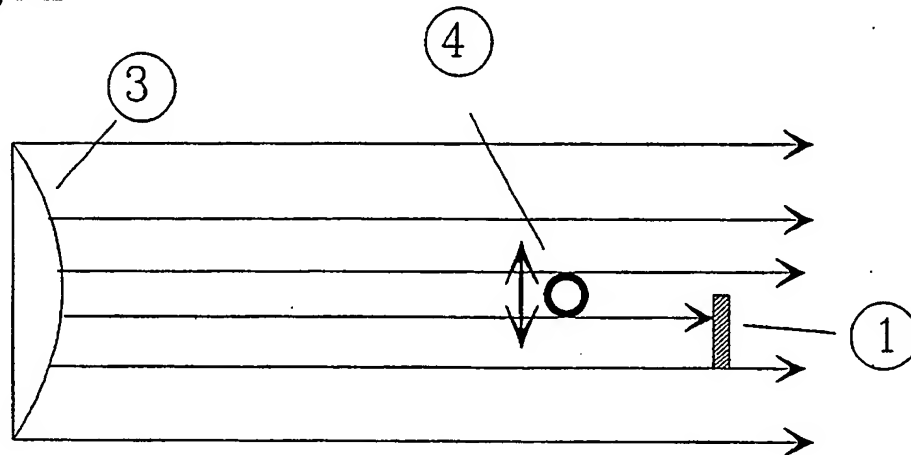


Fig. 6

